

## **INFLUENCIA DE LAS CADENAS EN EL DISEÑO DE PLINTOS. APLICACIÓN A UN BLOQUE DE GRADAS DE LA UFA-ESPE**

### **STRUCTURAL DESIGN IMPACT OF TIE FOUNDATION BEAMS IN A STAIRCASE AT UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

**Roberto Aguiar<sup>(1)</sup>, Abel Zambrano<sup>(2)</sup>, Diego Muñoz<sup>(2)</sup>,  
Daniela Vera<sup>(2)</sup>, Sebastián Serrano<sup>(2)</sup>, Alex Lucas<sup>(2)</sup>,  
Jonathan Mizobe<sup>(2)</sup>, Pablo Caiza<sup>(1)</sup>**

**<sup>(1)</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción  
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE  
Av. Gral. Rumiñahui s/n. Valle de los Chillos, Sangolquí, Ecuador  
P.O.BOX: 171-5-231B  
[rraguiar@espe.edu.ec](mailto:rraguiar@espe.edu.ec)**

**<sup>(2)</sup>Centro de Investigaciones en Ingeniería Sísmica  
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí  
Av. Circunvalación-Vía a San Mateo, Manta, Ecuador**

### **RESUMEN**

Se presenta un modelo para el análisis de plintos incorporando las cadenas como elementos estructurales y después se aplica el modelo, al cálculo de presiones del Bloque de Gradas de Emergencia de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que se halla en construcción.

Los resultados, a nivel de presiones transmitidas a la cimentación, se comparan con el modelo tradicional de cálculo de plintos sin considerar la presencia de las cadenas.

**Palabras Claves:** Incorporación de Cadenas al análisis de plintos.

### **ABSTRACT**

An analytical model is presented using tie foundation beams as important structural elements. Then, this model is applied to the calculation of soil stresses in an emergency staircase at Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, which is under construction.

The results, in terms of stresses transmitted to the foundation, are compared with those calculated using the traditional model that does not take into account the tie foundation beams.

**Keywords:** Embodying tie foundation beams to structural analysis

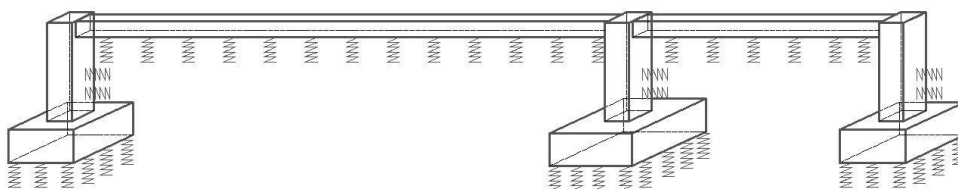
## 1. INTRODUCCIÓN

Para que trabajen en forma monolítica, las columnas de una estructura, se construyen cadenas de amarre en su base, como se observa en la figura 1, que corresponde al Bloque Estructural 8 de las nuevas construcciones que se están construyendo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el campus de Sangolquí. (Aguiar y Pazmiño, 2016).



**Figura 1** Cadenas de amarre que llegan a las columnas, en Bloque 8 de UFA-ESPE

En este artículo primero se presenta un modelo simplificado de análisis de una estructura conformada por: cadenas, pies de columna y plintos, como el indicado en la figura 2, considerando que el suelo tiene un comportamiento elástico, representado por resortes verticales (para los elementos horizontales) y resortes horizontales (para los elementos verticales).



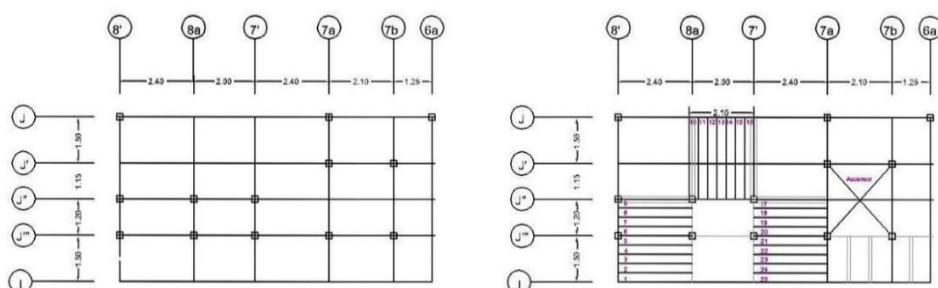
**Figura 2** Descripción de estructura de análisis: cadenas, pie de columna y plintos.

Posteriormente se aplica el modelo al análisis de la grada de emergencia que sirve de acceso al Bloque Estructural 7, que tiene aisladores sísmicos de triple péndulo de fricción y que se indica en la figura 3, dentro de un círculo dentro de un círculo; en la figura 4 se presenta una vista en planta de este bloque estructural. Se destaca que está construido sin aisladores sísmicos y que también existe otra grada igual para acceso al Bloque Estructural 1.

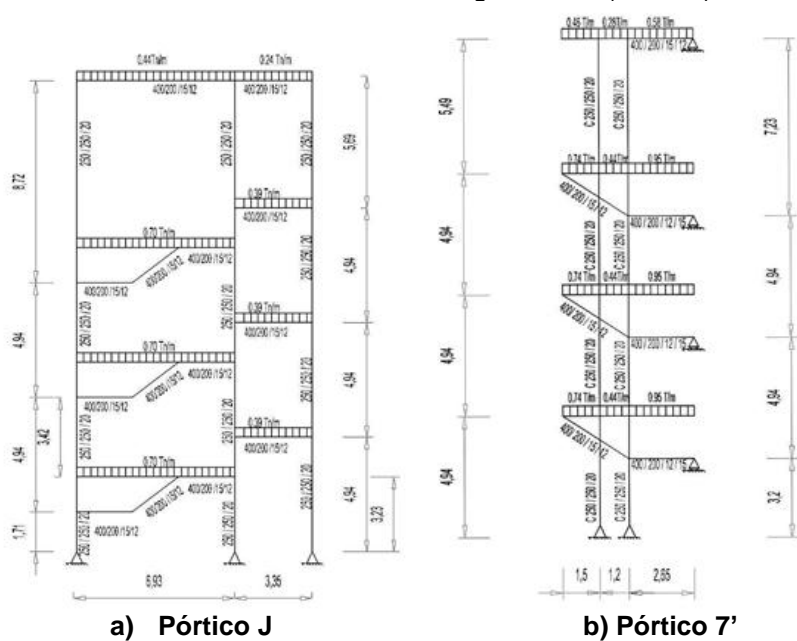
Con el propósito de entender el desarrollo del Bloque Estructural de acceso, en la figura 5, se presenta un pórtico longitudinal que es el a) Pórtico J y tres pórticos transversales que son: b) Pórtico 7'; c) Pórtico 7 b; y d) Pórtico 8'; con las cargas verticales con las que se realizó el análisis sísmico. Las cargas verticales con las que se halló la matriz de masas, son  $D + 0.25 L$ . Siendo  $D$  la carga permanente o muerta y  $L$  la carga viva; solo para el análisis sísmico se trabajó con  $D = 250 \text{ kg/m}^2$

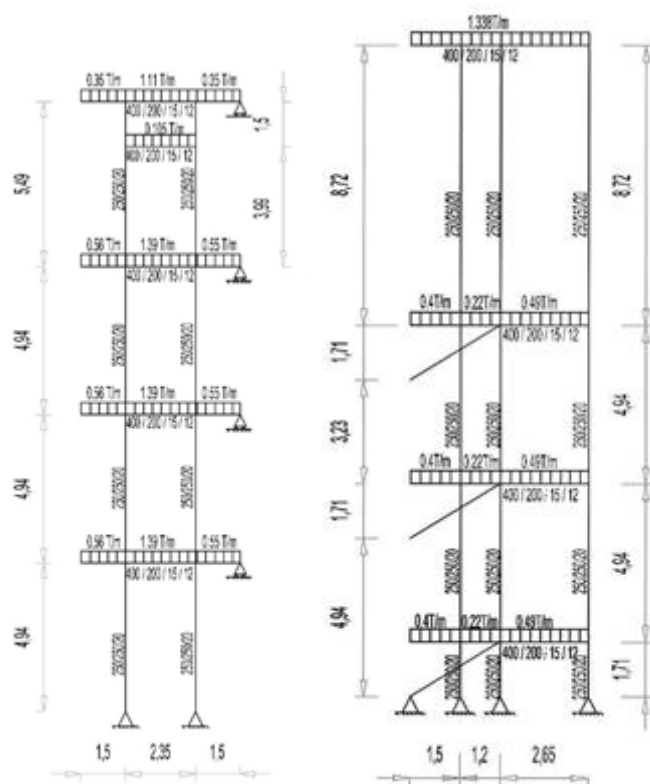


**Figura 3** La estructura que se halla dentro del círculo es la grada que se analiza en este artículo y sirve de acceso a los Bloques Estructurales 1 y 7 de la UFA-ESPE-



**Figura 4** Planta del Bloque de Gradas, cuya cimentación se analiza con dos modelos de cálculo. Fuente: Aguiar *et al.* (2016, 2)





b) Pórtico 7b

d) Pórtico 8'

Figura 5 Algunos pórticos de la estructura de la Grada.

La estructura es de acero por ese motivo todos los apoyos son articulados, aunque se debe hacer todo lo posible (constructivamente) para que los apoyos sean empotrados. La ventaja que se tiene al construir con apoyos fijos es que no se transmite momento a la cimentación y la desventaja es que se tiene mayores desplazamientos y derivas de piso ante la acción de un sismo, como se observa en la tabla 1, que corresponde al análisis sísmico ante el sismo de diseño DBE, obtenido al aplicar la Norma Ecuatoriana de la Construcción para un PGA de  $0.4 g$  en un perfil de suelo tipo C (Bonifaz 2015). Se trabajó con un factor de reducción de las fuerzas sísmicas  $R = 4$ .

Tabla 1 Comparación de Respuestas con apoyo fijo y empotrado.

Pórtico	Apoyo Fijo				Empotramiento			
	$T$ (s.)	$q$ (cm)	$\gamma$ (%)	$V_0$ (T.)	$T$ (s.)	$q$ (cm)	$\gamma$ (%)	$V_0$ (T.)
J	0.48	9.57	1.48	5.36	0.42	7.33	1.20	4.62
7'	0.60	14.0	1.30	3.66	0.50	10.51	0.85	3.27
7b	0.75	14.17	1.98	3.51	0.48	8.63	0.64	4.21
8'	0.27	3.28	0.22	1.29	0.27	3.29	0.22	1.28

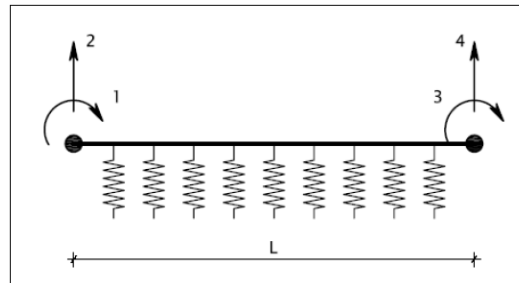
Las columnas son cuadradas tubulares de 250/250/20 mm, y las vigas son tipo "I" de 400/200/15/12.

## 2. DESCRIPCIÓN DE MODELO DE ANÁLISIS

En la estructura que se está analizando se tiene dos tipos de elementos a saber: i) Los elementos horizontales que corresponden al plinto y a las cadenas; y ii) Los elementos verticales que son los pies de columna. Para cada uno de estos elementos se tiene una matriz de rigidez del elemento.

### 2.1 Elemento horizontal

En la figura 6 se presenta el sistema de coordenadas globales para un elemento horizontal, se destaca que solo se considera giro (horario positivo) y desplazamiento vertical (hacia arriba positivo); el modelo no considera desplazamiento axial.



**Figura 6** Sistema de coordenadas globales para un elemento horizontal

La matriz de rigidez para el elemento horizontal, considerando comportamiento de suelo elástico, fue desarrollada por Alejandro Segovia (1981, 1982) y se encuentra descrito en: Aguiar (2006); Hidalgo (1982), Arias (2015).

$$\mathbf{k}_3 = \begin{bmatrix} k & -b & a & b_o \\ -b & t & -b_o & -t_o \\ a & -b_o & k & b \\ b_o & -t_o & b & t \end{bmatrix} \quad (1)$$

Se ha identificado con  $\mathbf{k}_3$  a la matriz de rigidez del elemento (con negrilla y minúscula) y con  $k$  a un elemento de la matriz de rigidez (sin negrilla). Las ecuaciones con las cuales se obtienen los elementos de la matriz de rigidez, son:

$$k = \frac{2EI}{\lambda} \cdot \frac{CS - sc}{S^2 - s^2} \quad b = \frac{2EI}{\lambda^2} \cdot \frac{s^2 + S^2}{S^2 - s^2} \quad (2)$$

$$a = \frac{2EI}{\lambda} \cdot \frac{sC - Sc}{S^2 - s^2} \quad b_o = \frac{4EI}{\lambda^2} \cdot \frac{sS}{S^2 - s^2} \quad (3)$$

$$t = \frac{4EI}{\lambda^3} \cdot \frac{SC + sc}{S^2 - s^2} \quad t_o = \frac{4EI}{\lambda^3} \cdot \frac{Sc + Cs}{S^2 - s^2} \quad (4)$$

Siendo las funciones trigonométricas e hiperbólicas:

$$s = \sin \frac{L}{\lambda} \quad c = \cos \frac{L}{\lambda} \quad (5)$$

$$S = \sinh \frac{L}{\lambda} \quad C = \cosh \frac{L}{\lambda}$$

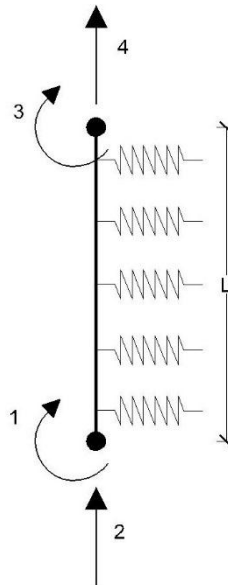
$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4 E I}{\beta r}} \quad (6)$$

$$I = \frac{r h^3}{12}$$

Donde:  $r, h$ , son la base y la altura de la sección transversal de la viga, plinto o cadena;  $E$  es el módulo de elasticidad del material;  $I$  es el momento de inercia de la sección;  $\beta$  es el coeficiente de balasto del suelo;  $\lambda$  es la longitud elástica del elemento;  $L$  es la longitud del elemento.

## 2.2 Elemento vertical

El sistema de coordenadas globales, para un elemento vertical, se indica en la figura 7, se aprecian 4 grados de libertad, un giro a flexión y un desplazamiento vertical en el nudo inicial y final.



**Figura 7** Sistema de coordenadas Globales para un elemento vertical

En elementos verticales, es importante determinar la rigidez en función de la profundidad  $z$ , a la que se halla un determinado punto del elemento, tema que se abordará en el siguiente apartado. Dejando en éste apartado la presentación del cálculo de la matriz de rigidez del elemento, asociado al sistema de coordenadas

de la figura 3. La matriz de rigidez es:

$$\mathbf{k}_3 = \begin{bmatrix} k & 0 & a & 0 \\ 0 & \frac{EA}{L} & 0 & -\frac{EA}{L} \\ a & 0 & k' & 0 \\ 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & \frac{EA}{L} \end{bmatrix} \quad (7)$$

En el cálculo de los términos de rigidez  $k, a, k'$ , se indica en el siguiente apartado. Falta por indicar el significado de  $A = r h$ , área de la sección transversal.

### 2.3 Determinación de los términos de rigidez $k, a, k'$

En las ecuaciones (2) y (3) se presenta el cálculo de los elementos  $k, a, k'$ , para el caso de un elemento horizontal, en este caso el resorte es vertical y la profundidad  $z$ , es constante. Ahora para un elemento vertical se tiene un resorte horizontal que representa la rigidez del suelo que se denomina  $k_h$ , de acuerdo a la nomenclatura de Reese y Vam Impe (2001).

Para un suelo granular la rigidez horizontal varía en función de la profundidad, conforme la siguiente ecuación:

$$k_h = k_{py} z \quad (8)$$

Donde  $k_h$  es la reacción horizontal del suelo;  $k_{py}$  es el módulo de reacción del suelo;  $z$  es la profundidad embebida del elemento con respecto a la superficie del suelo.

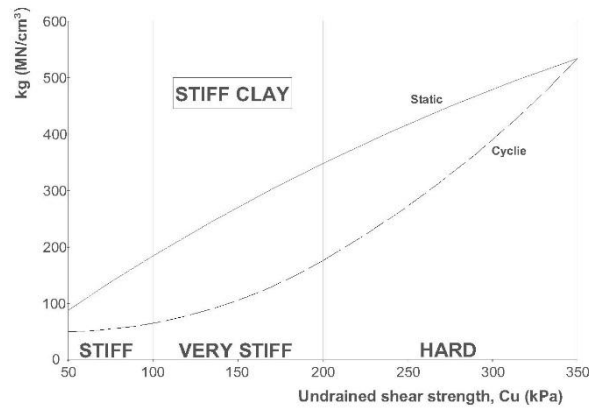
El módulo de reacción del suelo  $k_{py}$ , para un material con cohesión ( $c$ ) y ángulo de fricción interna  $\phi$ , se lo determina con la siguiente ecuación:

$$k_{py} = k_c + k_\phi \quad (9)$$

Donde:  $k_c$  es el módulo de reacción debido a la cohesión;  $k_\phi$  es el módulo de reacción debido al ángulo de fricción interna.

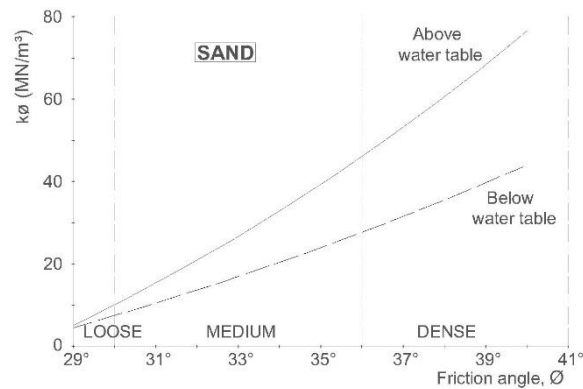
Los datos del suelo para la estructura analizada son: cohesión  $c = 0.46 \text{ kg/cm}^2$ , coeficiente de fricción interna  $\phi = 20^\circ$ . (Bonifaz, 2015).

El aporte de la cohesión en este trabajo es  $k_c = 90 \text{ MN/m}^3$  obtenido de la figura 8, para análisis estático con  $c = 46 \text{ kPa}$ .



**Figura 8** Valores de  $k_c$  en función de la cohesión.  
Fuente: (Reese y Van Impe, 2001)

El módulo de reacción del suelo correspondiente al ángulo de fricción interna, se lo obtiene de la figura 9. Nótese que no existe valor para ángulo de fricción interna de  $20^\circ$ , por lo que se consideró el valor de  $k_\phi = 5 \text{ MN}/\text{m}^3$  en el origen de la curva.



**Figura 9** Valores de  $k_\phi$  en función del ángulo de fricción interna  
Fuente: (Reese y Van Impe, 2001)

El módulo de reacción del suelo,  $k_{py}$ , considerando el aporte de la cohesión y el ángulo de fricción interna es  $k_{py} = 95 \text{ MN}/\text{m}^3$ .

Para calcular la rigidez horizontal del elemento vertical,  $k_h$ , se utiliza la ecuación (8) considerando la profundidad  $z$  en la cabeza y pie de columna.

- Cabeza de columna:  $k_h = k_{py}z = (9500T/\text{m}^3)(0.20\text{m}) = 1900T/\text{m}^2$



- Pie de columna:  $k_h = k_{pyz} = (9500T/m^3)(1.20m) = 11400T/m^2$

Ahora bien, estos valores corresponden al producto  $\beta r$ , en el formulario desarrollado por el Ing. Alejandro Segovia. Por lo tanto, la longitud elástica a flexión se determina con la siguiente expresión.

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4EI}{k_h}} \quad (10)$$

Con  $k_h = 11400$ , se determina  $\lambda_1$ , utilizando la ecuación (10) y este valor se reemplaza en ecuación (2) para hallar el término de rigidez  $k$  con el valor de  $k_h = 1900$ , se halla  $\lambda_2$  y al reemplazar en la misma ecuación (2) se halla el término de rigidez  $k'$  que consta en ecuación (7). Finalmente para hallar el término de rigidez  $\alpha$ , se encuentra primero un valor medio con los dos valores de  $k_h$ , luego se obtiene  $\lambda$  y se halla  $\alpha$ , con la ecuación (3).

## 2.4 Modelo de análisis

Asociado con la estructura indicada en la figura 2, que tiene 2 cadenas y 3 pies de columnas con sus respectivos plintos, en la figura 10 se presentan los grados de libertad considerados, básicamente se está trabajando con una rotación y un desplazamiento vertical por nudo. A partir del sistema de coordenadas generalizadas indicada en la figura 10 se puede inferir la numeración de los nudos. Nótese que primero se ha numerado los nudos de los plintos (3 nudos en cada plinto) y después en las cadenas, siempre de izquierda a derecha.



**Figura 10** Grados de libertad de Pórtico indicado en la figura 2.

Para poder encontrar la matriz de rigidez de la estructura, utilizando el sistema de computación **CEINCI-LAB** (Aguar 2014) es necesario que primero se numeren todos los elementos horizontales y después los verticales, como se indica en la figura 11. De esta forma la matriz de rigidez de la estructura será igual a la suma de la contribución de los elementos horizontales más la contribución de los elementos verticales.



**Figura 11** Numeración de los elementos de estructura de figura 2. Primero se numeran todos los elementos horizontales y luego todos los elementos verticales.

### 3. ANÁLISIS CON APOYOS ARTICULADOS

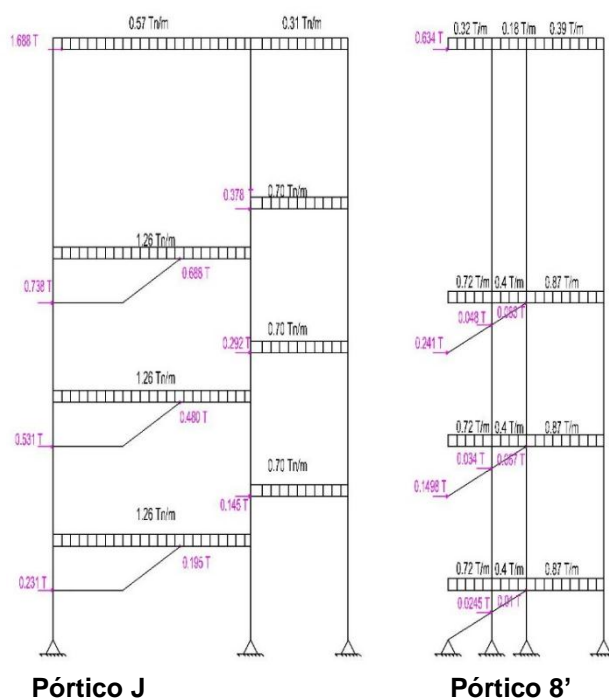
Se van a construir plintos aislados, de los que sobresale un pedestal de hormigón armado de 30/30 cm, sobre el cual se coloca una placa de apoyo y se asientan las columnas de acero. Las cadenas de amarre van a la altura de la parte superior de los pedestales y son de 20/20 cm.

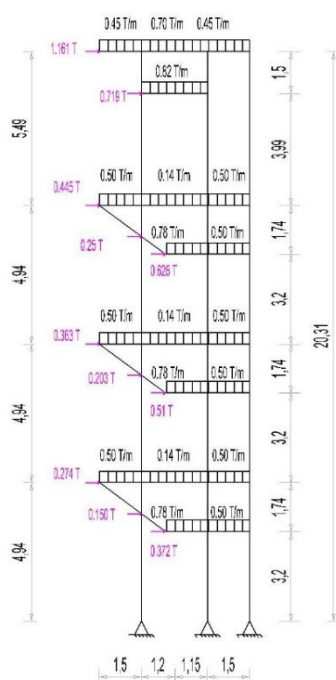
El esfuerzo admisible del suelo, ante cargas verticales es  $\sigma_{adm} = 30 \text{ T/m}^2$ , y ante cargas sísmicas  $\sigma_{adms} = 45 \text{ T/m}^2$ . Esto es debido a que el suelo tiene mejor comportamiento ante cargas de corta duración.

Por otra parte, el ángulo de fricción interna  $\phi = 20.13^\circ$  y la cohesión del suelo  $c = 0.46 \text{ kg/cm}^2$ . (Bonifaz, 2015)

#### 3.1 Pórtico J

Al estar solo apoyadas las columnas, únicamente se transmite carga axial a los plintos ya que el momento es cero. En la figura 12, se presentan los pórticos J, 8' y 7a, con las cargas verticales ( $D + L$ ) y con las fuerzas laterales  $S$ , que corresponde al estado de cargas sísmico, considerando apoyos. En la tabla 2 se indican las cargas que llegan a la cimentación, la primera cantidad es la que se obtiene al calcular el Pórtico J y la segunda cuando se analizan los pórticos transversales.



**Pórtico 7a****Figura 12** Pórtico J, 8', 7a, con carga vertical permanente más transitoria y con carga sísmica.**Tabla 2** Cargas axiales en plintos de Pórtico J, de tres combinaciones de carga

Pórtico	Estado de Carga	Pórtico 8' (T.)	Pórtico 7 a (T.)	Pórtico 6 a (T.)
<b>J</b>	D+L	14.89+4.05= <b>18.94</b>	18.4+2.81= <b>21.21</b>	4.3+4.05= <b>8.35</b>
	D+L+S	9.70-0.06= <b>9.64</b>	13.38+16.25= <b>29.63</b>	14.49-0.06= <b>14.43</b>
	D+L-S	20.08+8.16= <b>28.24</b>	23.41-10.64= <b>12.77</b>	-5.91+8.16= <b>2.25</b>
	Máximos con sismo	<b>28.24</b>	<b>29.63</b>	<b>14.43</b>

El cálculo de las presiones transmitidas al suelo, por efecto de la carga, se realiza de dos formas, en la primera (Modelo 1) se obtiene sin considerar la presencia de las cadenas, con la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (11)$$

Donde  $\sigma$  son las presiones transmitidas al suelo que deberán ser menores a la presión admisible del suelo;  $P$  es la carga axial;  $A$  es el área en planta de un plinto. Se realizó el cálculo considerando plintos de 60/60; 80/80; 100/100 cm. Con

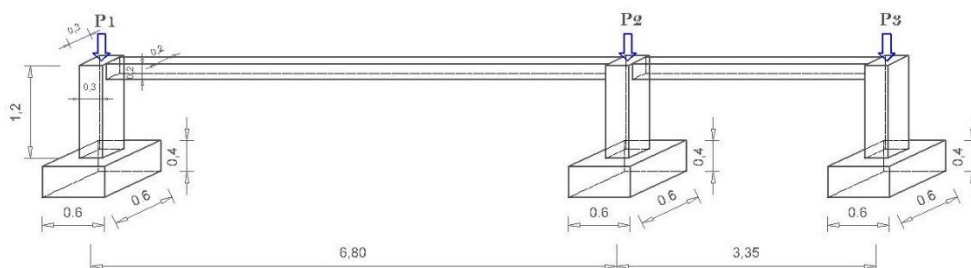
tres tipos de plintos para ver con cuál de ellos, se tiene que la presión es menor que la presión admisible; los resultados se indican en la tabla 3.

**Tabla 3** Presiones en plintos de Pórtico J, con plintos de diferente tamaño.

<b>MODELO 1</b>							
DIMENSIÓN PLINTO	ESTADO DE CARGA	8'-J		7a-J		6a-J	
		P (T)	$\vartheta(T/m^2)$	P (T)	$\vartheta(T/m^2)$	P (T)	$\vartheta(T/m^2)$
60/60	D+L	18.94	<b>52.61</b>	21.2	<b>58.89</b>	8.35	23.19
	D+L $\pm$ S	28.24	<b>78.44</b>	37.58	<b>104.39</b>	14.43	40.08
80/80	D+L	18.94	29.59	21.2	<b>33.13</b>	8.35	13.05
	D+L $\pm$ S	28.24	44.13	37.58	<b>58.72</b>	14.43	22.55
100/100	D+L	18.94	18.94	21.2	21.2	8.35	8.35
	D+L $\pm$ S	28.24	28.24	37.58	37.58	14.43	14.43

Las presiones,  $\sigma$  de la tabla 3 que están con negrilla, corresponden a los casos en que  $\sigma > \sigma_{adm}$ , se aprecia que los plintos cuadrados de 60/60 cm, de los ejes 8'-J, y, 7 a-J, no son suficientes. Es verdad que en este modelo no se considera la contribución de las cadenas.

Ahora, se va a calcular considerando que las cadenas son elementos soportantes, al igual que los pies de columna. Para este caso se considera que todos los plintos son de 60/60 cm, como se indica en la figura 13.



**Figura 13** Análisis de Pórtico J, incluyendo cadenas y pies de columna.

Las cargas axiales se indican en la tabla 2. Los resultados a nivel de presiones transmitidas al suelo  $\sigma$ , se indican en la tabla 4. El modelo 1, corresponde a lo que se obtiene sin considerar las cadenas y el modelo 2, con el aporte de las cadenas. Se aprecia que las cadenas y pies de columnas contribuyen notablemente en soportar las cargas que llegan a la cimentación, es que no es lo mismo analizar un elemento en forma aislada (modelo 1) con analizar varios elementos trabajando como una estructura.

Por eso con el modelo 1 se ve que con plintos de 60/60 cm, las presiones transmitidas son mayores que la presión admisible del suelo, en cambio con estos mismos plintos de 60 por 60 cm, en el modelo 2, superan ligeramente la presión admisible del suelo tanto para el estado de carga vertical (D+L) como para el estado de carga en que actúa el sismo ( $D + L \pm S$ )

Tabla 4 Presiones transmitidas al suelo con dos modelos de cálculo.

MODELO	ESTADO DE CARGA	PLINTO J		
		8'-J (T/m²)	7a-J (T/m²)	6a-J (T/m²)
	SECCION	60/60	60/60	60/60
1	D+L	52.61	58.89	23.19
	D+L ±S	78.44	104.39	40.08
2	D+L	33.6	25.8	13.8
	D+L ±S	50.1	35.7	24.6

Se decidió cambiar la dimensión del Plinto 8'J a 80/80 cm, con lo que se obtuvieron los resultados de la Tabla 5. Donde se aprecia que con el Modelo 2, las presiones son menores a las admisibles.

Tabla 5 Presiones transmitidas al suelo con plinto 8'J de 80/80, con dos modelos.

MODELO	ESTADO DE CARGA	PLINTO J		
		8'-J (T/m²)	7a-J (T/m²)	6a-J (T/m²)
	SECCION	80/80	60/60	60/60
1	D+L	29.59	58.89	23.19
	D+L ±S	44.13	104.39	40.08
2	D+L	22.5	25.8	13.8
	D+L ±S	33.6	35.7	24.6

3.2 Pórtico J'''

En el siguiente apartado, se analizará el Pórtico 7', que es un pórtico transversal pero para ello se requiere conocer las cargas y momentos que se hallan del Pórtico J''', razón por la cual en la figura 14 se presenta la geometría y cargas del Pórtico J''' para los dos tipos de modelos de la base: apoyado y empotrado.

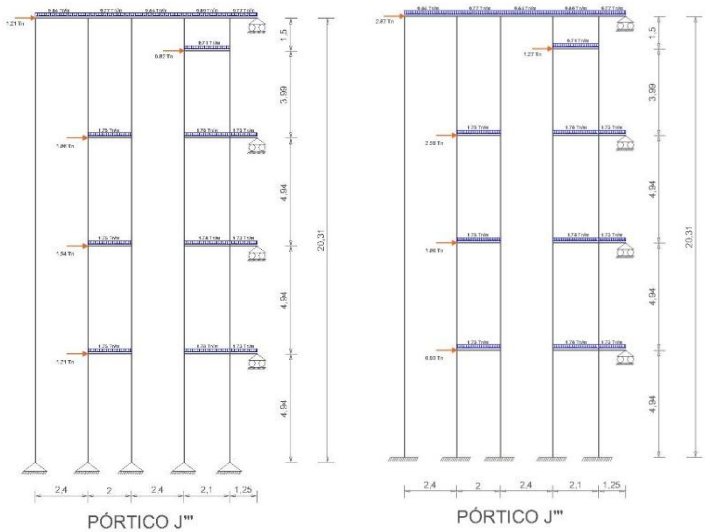


Figura 14 Cargas y Geometría del Pórtico J''' considerando base apoyada y empotrado.

### 3.3 Análisis de Pórtico 7'

En la tabla 6 se indica las cargas que llegan a los plintos del Pórtico 7', es la primera cantidad y la segunda es la contribución de los pórticos transversales. En base a estas cargas se obtienen las presiones que llegan al suelo con el modelo 1, los resultados se indican en la tabla 7. Se destaca que se está trabajando con el modelo apoyado, en la base de las columnas.

**Tabla 6** Cargas que llegan a los plintos del Pórtico 7'

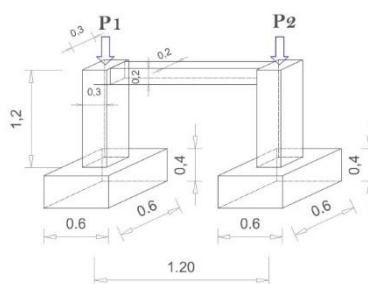
Pórtico	Estado de Carga	Pórtico J'' (T.)	Pórtico J''' (T.)
<b>7'</b>	D+L	5+7.22	7+7.22
	D+L+S	60.47+9.06	-44+9.06
	D+L-S	-10.07+9.01	35.49+9.01
	Máximos con sismo	69	46

Se ha calculado considerando plintos de 60/60; 80/80 y 100/100 cm. En la tabla 7 se observa que con ninguno de los plintos se logra que la presión transmitida al suelo sea menor que la presión admisible, de tal manera que la sección es insuficiente; esto se obtiene sin la contribución de las cadenas.

**Tabla 7** Presiones en los plintos del Pórtico 7, sin considerar influencia de cadenas

<b>MODELO 1</b>					
DIMENSIÓN PLINTO	ESTADO DE CARGA	7'-J''		7'-J'''	
		P (T)	$\vartheta(T/m^2)$	P (T)	$\vartheta(T/m^2)$
60/60	D+L	14.4	<b>40</b>	13.15	<b>36.53</b>
	D+L $\pm$ S	74.9	<b>208.06</b>	44.5	123.61
80/80	D+L	14.4	22.5	13.15	20.55
	D+L $\pm$ S	74.9	<b>117.03</b>	44.5	69.53
100/100	D+L	14.4	14.4	13.5	13.15
	D+L $\pm$ S	74.9	<b>74.9</b>	44.5	44.5

Ahora, en el modelo 2, se considera la cadena de 20/20 cm y los pedestales de 30/30 cm. Lo fundamental es que ahora trabaja como estructura, ver figura 15, en que se han colocado plintos de 60/60. Los resultados de este modelo, en términos de presiones se indican en la tabla 8. Se aprecia que las presiones disminuyen considerablemente en el modelo 2, en relación al modelo 1. A pesar de esta reducción importante con el modelo 2 todavía se aprecia que es insuficiente con plintos de 60 por 60 cm.



**Figura 15** Modelo 2 para calcular la presión transmitida al suelo con la colaboración de cadenas y pies de columna, para caso de base Apoyada.

**Tabla 8** Comparación de presiones con dos modelos: sin y con la contribución de las cadenas, análisis con plintos de 60/60 cm.

MODELO	ESTADO DE CARGA	PLINTO 7'	
		7'-J'' (T/m <sup>2</sup> )	7'- J'''(T/m <sup>2</sup> )
	SECCION	60/60	60/60
1	D+L	<b>40</b>	<b>36.53</b>
	D+L ±S	208.06	123.61
2	D+L	28.8	28.8
	D+L ±S	<b>134.7</b>	<b>104.1</b>

Se decide incrementar la sección de los plintos a 80/80 cm, con lo que se obtiene las presiones mostradas en la Tabla 9, se nota un mejor comportamiento, aunque para la acción sísmica todavía se sobrepasa el esfuerzo admisible del suelo ligeramente.

**Tabla 9** Análisis con plintos de 80/80 cm en el Pórtico 7' con dos modelos

MODELO	ESTADO DE CARGA	PLINTO 7'	
		7'-J'' (T/m <sup>2</sup> )	7'- J'''(T/m <sup>2</sup> )
	SECCION	80/80	80/80
1	D+L	22.5	20.55
	D+L ±S	<b>117.03</b>	<b>69.53</b>
2	D+L	18.6	17.7
	D+L ±S	<b>65.1</b>	<b>45.3</b>

#### 4. ANÁLISIS CON APOYOS EMPOTRADOS

Al analizar con apoyos empotrados, existe momento que se transmite a la cimentación, por lo que las presiones que se transmiten al suelo, en el modelo 1 de

un solo elemento se halla con la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{P}{A} \mp \frac{6M}{bh^2} \quad (12)$$

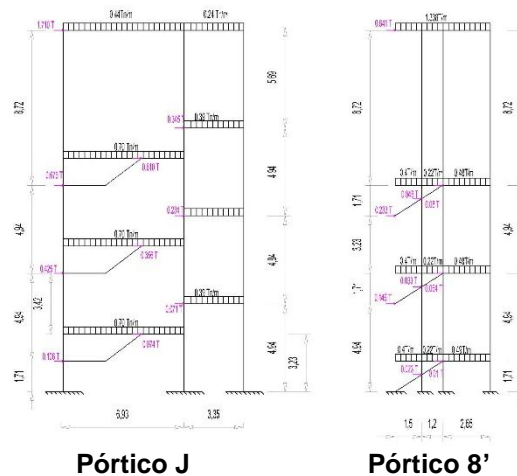
Donde  $P, M$ , son la carga vertical y momento que se transmiten a la cimentación;  $A$  es el área del plinto;  $b, h$ , dimensiones en planta del plinto. De igual manera se analiza un Pórtico longitudinal el  $J$ , y un pórtico transversal, el  $7'$ .

Para la carga vertical se suma la contribución de las cargas de cada uno de los pórticos ortogonales que llegan al plinto y para el momento, este se encuentra con la siguiente ecuación.

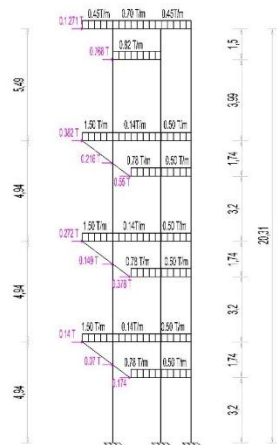
$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

Donde  $M_x, M_y$ , son los momentos que hallan en cada una de las direcciones de los pórticos que llegan a un plinto.

En la figura 16 se presenta las fuerzas laterales (sísmicas) que se hallan con el modelo de apoyo empotrado de los pórticos:  $J$ ,  $8'$  y  $7a$ . Difieren un poco de las que se encuentran con apoyo fijo y que fueron presentadas en la figura 12; las cargas verticales son las mismas.







Pórtico 7 a

Figura 16 Cargas verticales y laterales debido a sismo en Pórticos: J, 8', 7a.

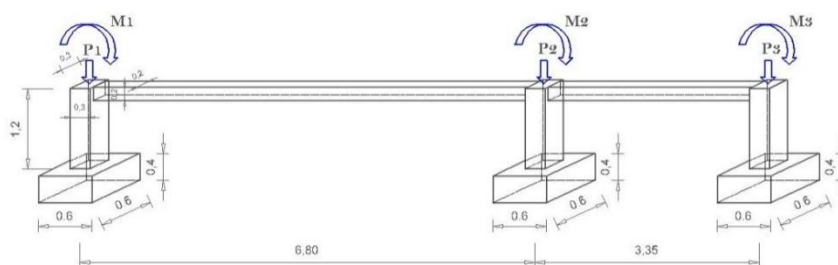
4.1 Análisis de Pórtico J con base empotrada

De igual forma se analizó el Pórtico J y los transversales a este pórtico, con esos datos, se encontró, la carga axial y un solo momento, calculados en la forma descrita al inicio del apartado 4. Los valores se indican en la tabla 10; donde también se indican las presiones máximas y mínimas que llegan al suelo, calculadas con la ecuación (12). Se aprecia que con los tres tipos de plinto seleccionados se sobrepasa la capacidad admisible del suelo o que el suelo está trabajando a tracción (caso de valores negativos) que no es posible. Simplemente los plintos indicados son insuficientes para soportar la carga y momento que llega a un plinto.

Tabla 10 Cargas y Momentos que llegan a los plintos del Pórtico J y cálculo de presiones con Modelo 1 para tres tipos de plintos: 60/60; 80/80 y 100/100 cm

DIMENSIÓN PLINTO	ESTADO DE CARGA		8'-J			7a-J			6a-J		
			P (T)	M (T.M)	$\vartheta(T/m^2)$	P (T)	M (T.M)	$\vartheta(T/m^2)$	P (T)	M (T.M)	$\vartheta(T/m^2)$
60/60	D+L	max	19.13	0.08	<b>55.36</b>	21.08	1.37	<b>96.61</b>	8.29	0.19	28.31
		min			<b>50.92</b>						17.75
	D+L ±S	max	27.25	4.83	<b>209.86</b>	26.43	3.36	<b>166.75</b>	13.18	2.02	<b>92.72</b>
		min			-58.47			-19.92			-19.5
80/80	D+L	max	19.13	0.08	<b>32.11</b>	21.08	1.37	<b>70.99</b>	8.29	0.19	18.23
		min			27.67			-5.12			7.68
	D+L ±S	max	27.25	4.83	<b>176.74</b>	26.43	3.36	<b>134.63</b>	13.18	2.02	<b>76.7</b>
		min			-91.59			-52.04			-35.52
100/100	D+L	max	19.13	0.08	21.35	21.08	1.37	<b>59.14</b>	8.29	0.19	13.57
		min			16.91			-16.98			3.01
	D+L ±S	max	27.25	4.83	<b>161.42</b>	26.43	3.36	<b>119.76</b>	13.18	2.02	<b>69.29</b>
		min			-106.9			-66.9			-42.93

Ahora, al analizarlo como estructura conformada por cadenas, pies de columnas y plintos, ver figura 17, Los resultados se presentan en la tabla 11 analizando en el modelo 2 con plintos de 60/60 cm, y se observa en el modelo 2 que las presiones transmitidas al suelo ligeramente superan a las admisibles tanto para verticales como para cargas sísmicas.



**Figura 17** Modelo 2 para el Pórtico J, considerando el aporte de cadenas con plintos de 60/60 cm.

Se decidió incrementar a 80/80 cm la dimensión del primer plinto de la figura 17, con esto, las presiones transmitidas se indican en la tabla 12, se aprecia que con el modelo 2, que toma en cuenta el aporte de cadenas las presiones transmitidas son menores a las admisibles.

**Tabla 11** Resultados con Base empotrada en Pórtico J, con dos modelos de análisis el 1 no considera las cadenas y el 2 si las considera.

MODELO	ESTADO DE CARGA		PLINTO J		
			8'-J (T/m <sup>2</sup> )	7a-J (T/m <sup>2</sup> )	6a-J (T/m <sup>2</sup> )
	SECCION		60/60	60/60	60/60
1	D+L	max	<b>55.36</b>	<b>96.61</b>	28.31
		min	<b>50.92</b>	20.5	17.75
	D+L ±S	max	<b>209.86</b>	<b>166.75</b>	<b>92.72</b>
		min	<b>-58.47</b>	-19.92	-19.5
2	D+L		<b>33.9</b>	25.8	13.8
	D+L ±S		<b>50.1</b>	32.4	22.5

**Tabla 12** Resultados con base empotrada pero con plinto 8'J de 80/80 cm. Modelo 1 no considera aporte de cadenas y Modelo 2 si considera aporte de cadenas.

MODELO	ESTADO DE CARGA		PLINTO J		
			8'-J (T/m <sup>2</sup> )	7a-J (T/m <sup>2</sup> )	6a-J (T/m <sup>2</sup> )
	SECCION		80/80	60/60	60/60
1	D+L	max	<b>32.11</b>	<b>96.61</b>	28.31
		min	27.67	20.50	17.75
	D+L ±S	max	<b>176.74</b>	<b>166.75</b>	<b>92.72</b>
		min	-91.59	-19.92	-19.50
2	D+L		22.80	25.80	13.80
	D+L ±S		31.50	32.40	22.50

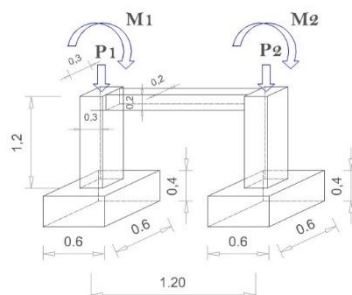
#### 4.2 Análisis en Pórtico 7' con base empotrada

Siguiendo el mismo esquema del apartado 3.2 pero esta vez con las reacciones que se obtienen con los apoyos empotrados se calculó en primer lugar las presiones que llegan al suelo, con el modelo 1, en que no se considera la presencia de las cadenas. Se consideró plintos de 60/60 a pesar de que se conoce que es insuficiente, se trabajó también con plintos de 80/80 y 100/100 cm. Los resultados se indican en la tabla 13.

**Tabla 13** Presiones transmitidas al suelo en los plintos del Pórtico 7' halladas con reacciones de los pórticos con base empotrada y con modelo 1 en que no considera la presencia de las cadenas.

MODELO 1								
DIMENSIÓN PLINTO	ESTADO DE CARGA		7'-J''			7'-J'''		
			P (T)	M (T.M)	θ(T/m <sup>2</sup> )	P (T)	M (T.M)	θ(T/m <sup>2</sup> )
60/60	D+L	max	36.4	0.08	<b>103.33</b>	3.55	0.83	<b>32.92</b>
		min			<b>98.89</b>			-13.19
	D+L ±S	max	70.72	5.55	<b>350.61</b>	34.41	5.25	<b>241.42</b>
		min			42.28			-50.25
80/80	D+L	max	36.4	0.08	<b>59.10</b>	3.55	0.83	<b>28.60</b>
		min			<b>54.65</b>			-17.51
	D+L ±S	max	70.72	5.55	<b>264.67</b>	34.41	5.25	<b>199.60</b>
		min			-43.67			-92.07
100/100	D+L	max	36.4	0.08	<b>38.62</b>	3.55	0.83	26.61
		min			<b>34.18</b>			-19.51
	D+L ±S	max	70.72	5.55	<b>224.89</b>	34.41	5.25	<b>180.24</b>
		min			-83.45			-111.42

En la figura 18, se presenta el Modelo 2 para el Pórtico 7', considerando la presencia de las cadenas. Únicamente para mantener el esquema de presentación se han colocado los plintos de 60/60 cm, y los resultados se indican en la tabla 14 pero se había decidido incrementar el tamaño de los plintos a 80/80 cm, con estas dimensiones los resultados se indican en la tabla 15.



**Figura 18** Descripción de estructura que se tiene con Modelo 2.  
Con plintos de 60/60 cm

Con plintos de 80/80 cm, se nota un mejor comportamiento en el modelo 2, sin embargo de ello las presiones son mayores a las admisibles.

**Tabla 14** Presiones que llegan al suelo halladas con reacciones de los pórticos considerando base empotrada. Con plintos de 60/60 cm, en el Pórtico 7'.

MODELO	ESTADO DE CARGA		PLINTO 7'	
			7'-J'' (T/m <sup>2</sup> )	7'-J''' (T/m <sup>2</sup> )
	SECCION		60/60	60/60
1	D+L	max	<b>103.33</b>	<b>32.92</b>
		min	<b>98.89</b>	-13.19
	D+L ±S	max	<b>350.61</b>	<b>241.42</b>
		min	42.28	-50.25
2	D+L		<b>56.10</b>	29.10
	D+L ±S		<b>120.00</b>	<b>86.40</b>

**Tabla 15** Cálculo con plintos de 80/80 cm, en Pórtico 7', con:  
Modelo 1 que no considera aporte de las cadenas y  
Modelo 2 que si considera el aporte de cadenas.

MODELO	ESTADO DE CARGA		PLINTO 7'	
			7'-J'' (T/m <sup>2</sup> )	7'-J''' (T/m <sup>2</sup> )
	SECCION		80/80	80/80
1	D+L	max	<b>59.10</b>	28.60
		min	<b>54.65</b>	-17.51
	D+L ±S	max	<b>264.67</b>	<b>199.60</b>
		min	-43.67	-92.07
2	D+L		<b>38.10</b>	16.20
	D+L ±S		<b>77.70</b>	<b>51.90</b>

## 5. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN

En base a los resultados encontrados en este estudio, **el valor medio, del porcentaje de reducción de las presiones que se transmiten al suelo por la contribución de las cadenas y pies de columna es del 46.94%**, cantidad que se obtiene con los promedios de los valores de las tablas 16 y 17.

En la tabla 16 se presenta los porcentajes de reducción, en los plintos del Pórtico J y en la 17 de los plintos del Pórtico 7'. Calculados con base apoyada y con base empotrada. Se destaca que cuando el pórtico tiene base empotrada, el porcentaje de reducción es mayor con relación al de base apoyada.

**Tabla 16** Reducción de las presiones que llegan al suelo en porcentaje al considerar las cadenas y pies de columnas. En los plintos de Pórtico J.

Estado	Base apoyada			Base empotrada			Promedio
	8'-J	7a - J	6a - J	8'-J	7a - J	6a - J	
$D + L$	23.96	56.19	40.49	28.99	73.29	51.25	45.69
$D + L \mp S$	23.86	65.80	38.62	82.18	80.57	75.73	61.13

**Tabla 17** Reducción de las presiones que llegan al suelo en porcentaje al considerar las cadenas y pies de columnas. En los plintos de Pórtico J.

Estado	Base apoyada		Base empotrada		Promedio
	7'-J''	7'-J'''	7'-J''	7'-J'''	
$D + L$	28.00	21.16	35.53	43.36	32.01
$D + L \mp S$	35.26	15.78	70.64	74.00	48.92

## 6. CONCLUSIONES

Se ha presentado un modelo numérico para el análisis de una estructura compuesta por cadenas, pies de columnas y plintos, considerando al suelo con comportamiento elástico.

Después se presentó el cálculo de las presiones que llegan al suelo con dos modelos, el primero de ellos no considera el aporte de las cadenas y el segundo modelo si considera el aporte de las cadenas, en dos pórticos del Bloque de Escaleras que sirve de acceso a un Bloque Estructural con aisladores sísmicos, en las nuevas construcciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicado en el Valle de los Chillos.

Del estudio realizado se concluye que las cadenas no solo sirven para amarrar las columnas sino que son elementos estructurales que ayudan a disminuir las presiones que se transmiten a los plintos. En el presente estudio el porcentaje de reducción promedio fue de 46.94%. Es importante tener en cuenta que el suelo del Proyecto es tipo "C" de acuerdo al NEC-15, de tal manera que se trata de un suelo muy resistente.

En el Anexo A, se indica las dimensiones de los plintos del Bloque Estructural que se ha analizado y una fotografía de los trabajos preliminares que se han ejecutado a febrero de 2016.

## AGRADECIMIENTO

Al Dr. Miguel Camino, Rector de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y al Gral. Roque Moreira, Rector de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación.

De igual manera se agradece las contribuciones realizadas por Andrés Ferrín.

## REFERENCIAS

1. Aguiar Roberto y Pazmiño Esteban (2016), "Detalles constructivos debido a los aisladores sísmicos en las construcciones de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21**, (2), 217-256. Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
2. Aguiar Roberto (2014), *Análisis Matricial de Estructuras*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH, cuarta edición, 676 p., Quito.
3. Aguiar Roberto (2006), *Análisis Estático de Estructuras*. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Primera Edición, 160 p.
4. Arias Albán Gustavo (2015), *Fundaciones Elásticas*, Edición de Prueba, 55 p., Caracas, Venezuela.
5. Bonifaz Hugo, (2015), *Informe de suelos. Edificio de Investigaciones*. Laboratorio de Ensayo de Materiales LEM-ESPE, 33 p., Sangolquí.

6. Hidalgo Wilfrido, (1983), *Mallas Espaciales con o sin base elástica*, Tesis de grado para obtener título de Ingeniero Civil. Escuela Politécnica del Ejército, 162 p. Quito.
7. NEC-15 (2015) *Norma Ecuatoriana de la Construcción, SE-DS, Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente*. 138 p. Quito.
8. Reese L.C, and Van Impe W.F., (2001), *Single Piles and Pile Groups under lateral loading*, A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
9. Segovia Alejandro, (1981), *Curso sobre cimentación elástica*, Apuntes de clase de VIII Nivel en la Escuela Politécnica del Ejército ESPE.
10. Segovia Alejandro, (1982), "Barras cortas sobre cimentación elástica con dos sectores de rigidez infinita", *Revista Técnica* **26**, Escuela Politécnica del Ejército ESPE.

## ANEXO A

